

СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ

Научная статья

УДК 006.86:547.262:54.027

<https://doi.org/10.20915/2077-1177-2026-22-2-35-47>



Измерения изотопного состава сахарозы: разработка методики и изготовление стандартных образцов для метрологического обеспечения в системе технического регулирования

Я. К. Чубченко  , А. В. Ларош , А. В. Смирнов, А. В. Колобова 

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева»,
г. Санкт-Петербург, Россия
 ycc@b10.vniim.ru

Аннотация: Определение изотопного состава сахарозы методом изотопной масс-спектрометрии – надежный способ контроля подлинности и географического происхождения пищевых продуктов. Однако в Российской Федерации до настоящего времени отсутствовали отечественные стандартные образцы изотопного состава сахарозы. К началу представленного в статье исследования доступность импортных сертифицированных стандартных образцов (IAEA-CH-6, UME CRM 1309) критически сократилась. Цель работы – разработка методики приготовления стандартных образцов и создание на ее основе стандартных образцов изотопного состава сахарозы (свекловичной и тростниковой) для метрологического обеспечения измерений в системе технического регулирования.

Исходным сырьем послужили сахароза по ГОСТ 5833–75 и сахар-сырец по ГОСТ Р 52305–2005. Методика приготовления включала отбор, очистку, сушку, измельчение, гомогенизацию и фасовку. Анализ выполнен на изотопном масс-спектрометре Isoprime precisION с элементным анализатором и модифицированной двухреакторной системой.

В результате разработаны и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений стандартные образцы ГСО 12737-2024 (сахароза свекловичная) и ГСО 12738-2024 (сахароза тростниковая). Аттестованы значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$. Исследованы однородность и стабильность. Значения $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ для сахарозы аттестованы впервые.

Новые стандартные образцы обеспечивают прослеживаемость к международным шкалам и предназначены для метрологического обеспечения измерений в пищевой, химической промышленности, научных исследованиях и таможенном контроле, а также для межлабораторных сравнительных испытаний и аттестации методик измерений.

Ключевые слова: сахароза, стабильные изотопы, изотопный состав, методика измерений, стандартные образцы, стандартные образцы изотопного состава, изотопная масс-спектрометрия, метрологическое обеспечение, техническое регулирование

Для цитирования: Измерения изотопного состава сахарозы: разработка методики и изготовление стандартных образцов для метрологического обеспечения в системе технического регулирования / Я. К. Чубченко [и др.] // Эталоны. Стандартные образцы. 2026. Т. 22, № 2. С. 35–47. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2026-22-2-35-47>

Статья поступила в редакцию 19.02.2026; одобрена после рецензирования 12.03.2026; принята к публикации 25.06.2026.

REFERENCE MATERIALS

Research Article

Measurements of the Isotopic Composition of Sucrose: Development of a Procedure and Preparation of Reference Materials for Metrological Assurance in the Technical Regulation System

Ian K. Chubchenko  , Artem V. Larosh , Andrei V. Smirnov, Anna V. Kolobova 

D. I. Mendeleev Institute for Metrology, St. Petersburg, Russia
 ycc@b10.vniim.ru

Abstract: The article presents the results of the development of reference materials (RMs) for the isotopic composition of beet-derived and cane-derived sucrose. The work is conditioned by the need to ensure technological sovereignty and replace currently unavailable foreign certified reference materials (IAEA-CH-6, UME CRM 1309) used to control the authenticity and geographical origin of food products (juices, alcohol, etc.) in accordance with the requirements of Russian and international standards. The developed method of RM preparation is described, including selection, purification, drying, grinding, and homogenization of raw materials with subsequent packaging. Isotopic composition measurements were performed on the Isoprime precisiON isotope mass spectrometer using an elemental analyzer and a two-reactor system for simultaneous analysis of solid and liquid samples. The certified delta values of the isotope ratios of carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$), hydrogen ($\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$) were determined, and the homogeneity, short-term and long-term stability of the RMs were investigated. The obtained values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ correspond to the known literature ranges for C3 and C4 plants, which confirm the validity of the methodology. The values of $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ for sugars have been certified for the first time. The developed RMs make it possible to ensure traceability of measurements to international scales; they are intended for metrological assurance of isotopic composition analysis in the food and chemical industries, scientific research, and customs control, as well as for conducting interlaboratory comparisons and certification of measurement procedures.

Keywords: sucrose, stable isotopes, isotopic composition, measurement procedure, reference materials, reference materials for isotopic composition, isotope mass spectrometry, metrological assurance, technical regulation

For citation: Chubchenko IK, Larosh AV, Smirnov AV, Kolobova AV. Measurements of the isotopic composition of sucrose: development of a procedure and preparation of reference materials for

metrological assurance in the technical regulation system. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2026;22(2):35–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2026-22-2-35-47>

The article was submitted 19.02.2026; approved after reviewing 12.03.2026; accepted for publication 25.06.2026.

Введение

Метод изотопной масс-спектрометрии позволяет подтвердить подлинность и географическое происхождение пищевых продуктов. В частности, с его помощью осуществляется контроль качества мёда [1, 2], фруктовых соков [3], алкогольных напитков (вина, виски) [4], оливкового масла [5], сыра [6], говядины [7], выявление синтетических аналогов таких продуктов, как ванилин [8].

Ключевые методики, например, описанные в ГОСТ 32710–2014¹, базируются на применении конкретных международных стандартных образцов: IAEA-CH-6 (сахароза), NBS22 (минеральное масло), BCR-656 (этанол). ИЮПАК² в соответствии с принципом идентичной пробоподготовки [9] рекомендует для анализа изотопного состава сахарозы в продукте использовать сертифицированный стандартный образец (ССО) аналогичного изотопного и компонентного состава, например, IAEA-CH-6 или UME CRM 1309.

Однако упомянутые документы регламентируют применение исключительно импортных ССО, в том числе и сахарозы. Необходимость создания отечественных методик измерений и стандартных образцов (СО) взамен зарубежных продиктована национальными интересами в области обеспечения единства измерений в Российской Федерации.

Представленное в статье исследование выполнено с целью разработки собственной методики и отечественных СО изотопного состава сахарозы для выполнения измерений методом изотопной масс-спектрометрии.

С указанной целью в исследовании предстоит решить следующие задачи:

- разработать методику приготовления СО;
- изготовить опытную партию СО;
- определить метрологические характеристики СО;
- провести испытания с целью утверждения типа СО.

Материалы и методы

Теоретическая база

Отправной точкой исследования стало изучение нормативной базы и практики применения методов и методик выполнения измерений сахарозы методом изотопной масс-спектрометрии.

В Российской Федерации изотопный анализ является необходимым элементом системы технического регулирования. Изотопный анализ применяется для подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов Таможенного союза (ТР ТС 023/2011³ на соковую продукцию и ТР ЕАЭС 047/2018⁴ на алкоголь), а также для соблюдения национальных стандартов (ГОСТ 32710–2014, ГОСТ Р 702.1.011–2020⁵, ГОСТ Р 55460–2013⁶, ГОСТ Р 59570–2023⁷), регулирующих вопросы качества и безопасности соков и алкоголя.

Внедрение и практическое использование перечисленных методов и методик

³ ТР ТС 023/2011 – технический регламент Таможенного союза «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей».

⁴ ТР ЕАЭС 047/2018 – технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности алкогольной продукции».

⁵ ГОСТ Р 702.1.011–2020 Российская система качества. Вина игристые. Потребительские испытания.

⁶ ГОСТ Р 55460–2013 Продукция алкогольная. Идентификация. Метод определения отношения изотопов C13/C12 диоксида углерода в игристых винах и напитках брожения.

⁷ ГОСТ Р 59570–2023 Продукция алкогольная. Коньяки и коньячные дистилляты. Оценка качества и идентификация.

¹ ГОСТ 32710–2014 Продукция алкогольная и сырье для ее производства. Идентификация. Метод определения отношения изотопов ¹³C/¹²C спиртов и сахаров в винах и сусле.

² ИЮПАК – Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC – International Union of Pure and Applied Chemistry). URL: <https://iupac.org/> (дата обращения: 19.02.2026).

в Российской Федерации испытывает технологическую зависимость от импортных материалов. Для реализации указанных методов и методик требуются ССО зарубежного производства, обращение которых на территории нашей страны в настоящее время невозможно по ряду внешнеполитических и логистических причин.

Так, ключевые методики, например, описанные в ГОСТ 32710–2014, базируются на применении конкретных международных СО: IAEA-CH-6 (сахароза), NBS22 (минеральное масло), BCR-656 (этанол). ИЮПАК в соответствии с принципом идентичной пробоподготовки [9] рекомендует для анализа изотопного состава сахарозы в продукте использовать ССО аналогичного изотопного и компонентного состава, например, IAEA-CH-6 или UME CRM 1309.

Поставка практически всех ССО изотопного состава зарубежного производства, в том числе сахарозы, в российские лаборатории в текущих условиях невозможна. Это ставит под угрозу выполнение требований как национальных, так и международных стандартов, ранее перечисленных: ТР ТС 023/2011, ТР ЕАЭС 047/2018, ГОСТ 32710–2014, ГОСТ Р 702.1.011–2020, ГОСТ Р 55460–2013, ГОСТ Р 59570–2023.

Изготовление СО

Изготовление СО изотопного состава представляет собой последовательность операций, направленных на достижение однородности и стабильности СО. Ключевыми этапами являются подготовка и обработка исходного сырья: отбор, очистка, гомогенизация, сушка и измельчение. Тщательность выполнения каждого из этих шагов напрямую влияет на метрологические характеристики СО.

На старте исследования проанализировали исходный материал зарубежных ССО изотопного состава сахарозы IAEA-CH-6 и UME CRM 1309:

– IAEA-CH-6: исходный материал тростниковой сахарозы, выращенной в период с сентября 1965 по июнь 1971 г., гомогенизировали и помещали во флаконы;

– UME CRM 1309: сахарозу, приобретенную у Sigma-Aldrich в виде порошка, гомогенизировали с помощью 3D-миксера и помещали во флаконы из янтарного стекла емкостью 5 мл.

Разработка отечественных СО началась с подготовки сырья:

– для СО изотопного состава сахарозы (свекла сахарная) исходный материал представлял собой сахарозу по ГОСТ 5833–75⁸, расфасованную массой от 0,5 до 2,0 г в стеклянные флаконы (виалы) вместимостью 4,0 см³, герметично укупоренные закручивающимися крышками с вкладышами (септами) из инертного материала, снабженные этикетками;

– для СО изотопного состава сахарозы (тростник сахарный) исходный материал представлял собой сахар-сырец по ГОСТ Р 52305–2005⁹, расфасованный массой от 0,5 до 2,0 г в стеклянные флаконы (виалы) вместимостью 4,0 см³, герметично укупоренные закручивающимися крышками с вкладышами (септами) из инертного материала, снабженные этикетками.

Исходный материал СО предварительно высушивали в сушильном вакуумном шкафу в течение не менее 3 ч при температуре 100 °С, измельчали до размера зерна менее 400 мкм и тщательно перемешивали в лабораторной мельнице в течение 1 мин для обеспечения однородности изотопного состава.

Определение метрологических характеристик СО

Измерения проводились на изотопном масс-спектрометре (ИМС) Isoprime precisION [10] в соответствии с аттестованной методикой измерений МИ 242/1–2024¹⁰.

В качестве системы ввода пробы в ИМС использовался элементный анализатор (ЭА) ECS8020 с ГХ-разделением газообразных продуктов реакции и их количественным определением детектором по теплопроводности.

Основные составные части ЭА:

– две однореакторных печи (диаметром 18 мм);

⁸ ГОСТ 5833–75 Реактивы. Сахароза. Технические условия.

⁹ ГОСТ Р 52305–2005 Сахар-сырец. Технические условия.

¹⁰ МИ 242/1–2024 «Методика измерений дельта значения отношения изотопов углерода, кислорода, водорода в стандартных образцах изотопного состава этанола, карбоната кальция, сахарозы, полиэтилена и монооксида углерода».

- детектор по теплопроводности (TCD);
- ловушка H_2O , заполненная перхлоратом магния;
- колоночный термостат ($30\text{--}110\text{ }^\circ\text{C}$) с хроматографической колонкой.

Разделение газообразных продуктов реакции при анализе изотопного состава водорода проводили при помощи хроматографической колонки длиной 1 м, нагретой до $80\text{ }^\circ\text{C}$, заполненной молекулярным ситом (Molecular Sieves 3A).

Разделение газообразных продуктов реакции при анализе изотопного состава углерода и кислорода проводили при помощи хроматографической колонки длиной 2 м, нагретой до $60\text{ }^\circ\text{C}$ (производитель NC Technologies, Италия).

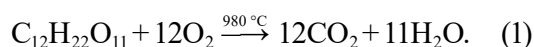
Для одновременного анализа жидких и твердых образцов газовая система ЭА была модифицирована (рис. 1). Разделенный пополам поток гелия проходил через два реактора с одинаковой набивкой, но разным типом ввода образцов. После прохождения реакторов потоки смешивались и направлялись через водяную ловушку и хроматографическую колонку в ИМС. Данная система позволяла проводить измерения изотопного состава как жидких, так и твердых образцов без переустановки

устройства ввода пробы в реактор и охлаждения печи ЭА.

Твердотельный ввод использовался для подачи в реактор сахарозы и следующих ССО: IAEA-603, IAEA-612 и USGS54. Жидкостной ввод использовался для подачи в реактор следующих ССО: SMOW2, SLAP2. Использование указанных ССО обеспечило достижение наилучших метрологических характеристик СО.

Расход гелия через ЭА при анализе изотопного состава углерода, кислорода и водорода был установлен на уровне $150\text{ см}^3/\text{мин}$.

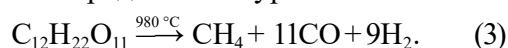
Процесс окисления сахарозы при анализе изотопного состава углерода описан уравнением



Пиролиз сахарозы при анализе изотопного состава водорода описан уравнением



Пиролиз сахарозы при анализе изотопного состава кислорода описан уравнением



Приведем порядок проведения описанных выше химических реакций. Кварцевые реакторы ЭА поочередно заполняли реактивами

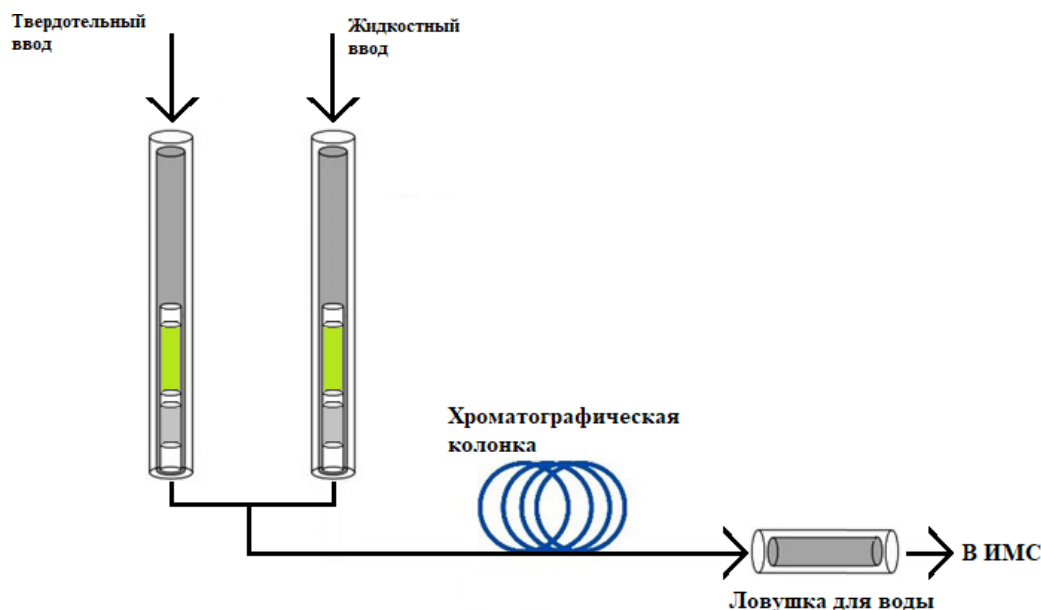


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным / The figure is prepared by the authors using their own data

Рис. 1. Двухреакторная система элементного анализатора

Fig. 1. Dual-reactor system of the elemental analyzer

и нагревали до температур, указанных в уравнениях (1)–(3). Реактивы для наполнения реакторов использовали в соответствии с [11]. Сахарозу помещали в оловянные (для измерений дельта значения отношения изотопов углерода) или серебряные (для измерений дельта значения отношения изотопов водорода и кислорода) тигли и взвешивали на весах:

– для измерений $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ взвешивали 0,2–1,0 мг пробы;

– для измерений $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ и $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$ взвешивали 0,2–0,6 мг пробы.

Тигли с пробами плотно запаковывали до максимально сжатого состояния кубической формы, добиваясь устранения атмосферного воздуха. Запакованные пробы помещали в барабан автодозатора. Пробы жидких образцов объемом 1 мкл вводили в кварцевый реактор при помощи шприца.

Оценка однородности СО проведена в условиях повторяемости в соответствии с планом исследований согласно ГОСТ ISO Guide 35–2015¹¹, Р 50.2.058–2007¹², РМГ 93–2015¹³. Исследование долговременной и кратковременной стабильности проведено в соответствии с ГОСТ ISO Guide 35–2015. Процедуры исследований однородности, долговременной и кратковременной стабильности и расчета расширенной неопределенности СО совпадают с описанием в [11].

Результаты и обсуждение

В ходе исследования проанализированы методы приготовления зарубежных ССО изотопного состава сахарозы. На основе данного анализа в соответствии с планом исследований создана собственная методика приготовления СО изотопного состава сахарозы.

Разработаны и внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений (ФИФ ОЕИ):

¹¹ ГОСТ ISO Guide 35–2015 Стандартные образцы. Общие и статистические принципы сертификации (аттестации).

¹² Р 50.2.058–2007 «Оценивание неопределенностей аттестованных значений стандартных образцов».

¹³ РМГ 93–2015. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Оценивание метрологических характеристик стандартных образцов.

– ГСО 12737–2024. Государственный стандартный образец. СО изотопного состава сахарозы (свекла сахарная);

– ГСО 12738–2024. Государственный стандартный образец. СО изотопного состава сахарозы (тростник сахарный).

Изготовлена опытная партия СО в количестве 20 шт. (рис. 2).



Фотография выполнена авторами / The photograph is taken by the authors

Рис. 2. Общий вид экземпляров СО

Fig. 2. General view of the RM samples

Выполнены исследования однородности и стабильности СО. Результаты исследования однородности, долговременной и кратковременной стабильности СО, определения аттестованных значений и результатов расчетов расширенной неопределенности аттестованных значений разработанных СО приведены в табл. 1–4. Всего выполнено более 30 измерений значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ СО.

Стандартная неопределенность от неоднородности СО изотопного состава сахарозы (тростник сахарный) составила:

– 0,009 ‰ для дельта значения отношения изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$;

– 0,10 ‰ для дельта значения отношения изотопов водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$;

– 0,021 ‰ для дельта значения отношения изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$.

Стандартная неопределенность от неоднородности стандартного образца изотопного состава сахарозы (свекла сахарная) составила:

– 0,003 ‰ для дельта значения отношения изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$;
 – 0,09 ‰ для дельта значения отношения изотопов водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$;
 – 0,03 ‰ для дельта значения отношения изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$.

Стандартная неопределенность от долговременной нестабильности ($u_{\text{долг. стаб}}$) для СО изотопного состава сахарозы (свекла сахарная) составила:

– 0,007 ‰ для $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$;
 – 0,021 ‰ для $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$;
 – 0,03 ‰ для $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$.

Стандартная неопределенность от долговременной нестабильности ($u_{\text{долг. стаб}}$) для СО

изотопного состава сахарозы (тростник сахарный) составила:

– 0,006 ‰ для $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$;
 – 0,017 ‰ для $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$;
 – 0,12 ‰ для $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$.

Представленные далее в табл. 2 результаты измерений позволяют принять гипотезу об отсутствии тренда по каждому экземпляру СО согласно пп. 5.2.15; 5.3.9 РМГ 93-2015. Статистически значимого изменения за период исследования стабильности не обнаружено, таким образом подтверждается срок годности СО – 12 месяцев.

Стандартная неопределенность от кратковременной нестабильности ($u_{\text{долг. стаб}}$) для СО

Таблица 1. Результаты исследования однородности СО

Table 1. Results of the homogeneity study of the RMs

Наименование образца	Наименование аттестуемых характеристик	Квадрат среднего (ANOVA), $M_{\text{межэкз}}$	Квадрат среднего (ANOVA), $M_{\text{внутриэкз}}$	Стандартная неопределенность от неоднородности, $u_{\text{од}}$, ‰
Стандартный образец изотопного состава сахарозы (тростник сахарный)	Дельта значение отношений изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	0,000 6	0,000 4	0,009
	Дельта значение отношений изотопов водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$	0,10	0,07	0,10
	Дельта значение отношений изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	0,007	0,005	0,021
Стандартный образец изотопного состава сахарозы (свекла сахарная)	Дельта значение отношений изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	0,000 6	0,000 5	0,003
	Дельта значение отношений изотопов водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$	0,12	0,10	0,09
	Дельта значение отношений изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	0,005	0,003	0,03

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

Таблица 2. Результаты исследования долговременной стабильности
Table 2. Results of the long-term stability study

Наименование образца	Наименование аттестуемых характеристик	Стандартное отклонение наклона, $s(b1)$	Предполагаемый срок годности экземпляра CO_2 , Т, месяц	Стандартная неопределенность от долговременной нестабильности, $u_{\text{долг. стаб}}$, ‰
Стандартный образец изотопного состава сахарозы (тростник сахарный)	Дельта значение отношений изотопов углерода $\delta^{13}C_{VPDB}$	0,000 5	12	0,006
	Дельта значение отношений изотопов водорода δ^2H_{VSMOW}	0,010		0,12
	Дельта значение отношений изотопов кислорода $\delta^{18}O_{VSMOW}$	0,001 4		0,017
Стандартный образец изотопного состава сахарозы (свекла сахарная)	Дельта значение отношений изотопов углерода $\delta^{13}C_{VPDB}$	0,000 5	12	0,007
	Дельта значение отношений изотопов водорода δ^2H_{VSMOW}	0,002		0,03
	Дельта значение отношений изотопов кислорода $\delta^{18}O_{VSMOW}$	0,001 8		0,021

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

изотопного состава сахарозы (свекла сахарная) составила:

- 0,009 ‰ для $\delta^{13}C_{VPDB}$;
- 0,03 ‰ для $\delta^{18}O_{VSMOW}$;
- 0,04 ‰ для δ^2H_{VSMOW} .

Стандартная неопределенность от кратковременной нестабильности ($u_{\text{долг. стаб}}$) для CO_2 изотопного состава сахарозы (тростник сахарный) составила:

- 0,004 ‰ для $\delta^{13}C_{VPDB}$;
- 0,027 ‰ для $\delta^{18}O_{VSMOW}$;
- 0,15 ‰ для δ^2H_{VSMOW} .

Представленные далее в табл. 3 результаты измерений позволили принять гипотезу

об отсутствии тренда по каждому экземпляру CO_2 согласно пп. 5.2.15; 5.3.9 РМГ 93-2015. Статистически значимого изменения за период исследования стабильности не обнаружено, таким образом подтверждается максимальный срок транспортирования – 2 месяца.

Полученные аттестованные значения $\delta^{13}C_{VPDB}$ для сахарозы тростникового (-12,9 ‰) и свекловичного (-25,9 ‰) происхождения находятся в полном соответствии с опубликованными в научной литературе данными [12], типичный диапазон составляет:

– для тростника (C4-растения) – от -16 до -9 ‰;

Таблица 3. Результаты исследования кратковременной стабильности

Table 3. Results of the short-term stability study

Наименование образца	Наименование аттестуемых характеристик	Стандартное отклонение наклона, $s(b1)$	Предполагаемый срок транспортировки экземпляра СО, Т, месяц	Стандартная неопределенность от кратковременной нестабильности, $u_{\text{кратковр. стаб.}}$ ‰
Стандартный образец изотопного состава сахарозы (тростник сахарный)	Дельта значение отношений изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	0,000 7	2	0,009
	Дельта значение отношений изотопов водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$	0,002 5		0,04
	Дельта значение отношений изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	0,003		0,03
Стандартный образец изотопного состава сахарозы (свекла сахарная)	Дельта значение отношений изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	0,000 3	2	0,004
	Дельта значение отношений изотопов водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$	0,08		0,15
	Дельта значение отношений изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	0,004 5		0,027

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

– для сахарной свеклы (СЗ-растения) – от -35 до -21 ‰.

Подытожим:

1) разработанные СО корректно отражают фундаментальные биохимические различия между растениями с разными типами фотосинтеза; исследования дельта значений отношения изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ и водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$ в российских сахарах ранее не проводились;

2) полученные результаты согласуются с опубликованными данными об изотопном составе сахарозы растительного происхождения, что подтверждает надежность примененных методов

изотопного анализа и их применимость для идентификации биологического источника сахарозы.

Исследование продемонстрировало высокую достоверность изотопных методов в определении источника происхождения сырья, что подтвердило важность разработки СО для интерпретации изотопных данных. Такой результат особенно актуален в области контроля качества соковой и алкогольной продукции, таможенного контроля.

Заключение

В результате исследования разработаны СО изотопного состава сахарозы для

Таблица 4. Аттестованные значения и результаты расчетов расширенной неопределенности (при $k = 2$ и $P = 0,95$) аттестованных значений СОTable 4. Certified values and results of expanded uncertainty calculations (at $k = 2$ and $P = 0.95$) of the certified values of the RMs

Наименование образца	Наименование аттестуемых характеристик	Аттестованное значение, ‰	Расширенная неопределенность (U)* при $k = 2$ и $P = 0,95$, ‰	Диапазон согласно литературным данным, ‰
Стандартный образец изотопного состава сахарозы (тростник сахарный)	Дельта значение отношений изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	-12,9	0,3	-16 до -9
	Дельта значение отношений изотопов водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$	-51,8	5,0	—
	Дельта значение отношений изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	28,4	0,6	—
Стандартный образец изотопного состава сахарозы (свекла сахарная)	Дельта значение отношений изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$	-25,9	0,3	-35 до -21
	Дельта значение отношений изотопов водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$	-60,6	5,0	—
	Дельта значение отношений изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$	31,4	0,6	—

Таблица составлена авторами по собственным данным / The table is prepared by the authors using their own data

метрологического обеспечения измерений по целому ряду российских стандартов и ТР ТС. Создана методика приготовления СО. Изготовлена опытная партия, определены метрологические характеристики СО, проведены испытания с целью утверждения типа СО.

СО имеют широкий спектр применения:

– установление и контроль стабильности градуировочных (калибровочных) характеристик средств измерений, а также контроль метрологических характеристик при проведении их испытаний, в том числе в целях утверждения типа;

– аттестация методик (методов) измерений;
– контроль точности результатов измерений дельта значений отношений изотопов углерода, кислорода, водорода;
– проведение межлабораторных сравнительных (сличительных) испытаний.

Сфера применения новых СО – пищевая, химическая, нефтеперерабатывающая промышленность, научные исследования, таможенный контроль.

Практическая значимость исследования заключается также и в том, что известные ранее зарубежные ССО изотопного состава сахарозы

имели только одну аттестованную характеристику – дельта значения отношения изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, а значения $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ и $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$ аттестованы не были. Новые, отечественные, СО изотопного состава сахарозы позволят создать базу учета происхождения сырья с аттестованными характеристиками дельта значения отношения изотопов углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$, водорода $\delta^2\text{H}_{\text{VSMOW}}$ и кислорода $\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$.

Полученные результаты совпадают с представленными в научной литературе результатами анализа изотопного состава сахарозы аналогичного происхождения.

Прослеживаемость аттестованных значений СО к единице величины «дельта значение отношения изотопов», воспроизводимой международной эталонной дельта шкалой VPDB и VSMOW, обеспечена проведением измерений по аттестованной методике измерений, предусматривающей применение СО с установленной прослеживаемостью, что гарантирует признание результатов измерений на международном уровне.

Вклад авторов: Чубченко Я. К. – разработка методологии, контроль проведения исследований, валидация; Ларош А. В. – подготовка визуальных материалов, проверка и редакция текста статьи, выполнение измерений; Смирнов А. В. – подготовка проб и исходных материалов; Колобова А. В. – разработка концепции исследования, анализ результатов, проверка текста статьи.

Contribution of the authors: Chubchenko I. K. – methodology development, research supervision, validation; Larosh A. V. – preparation of visual materials, manuscript review and editing, measurements; Smirnov A. V. – sample and raw material preparation; Kolobova A. V. – conceptualization, results analysis, manuscript review.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Conflict of interest: The authors declare no conflicts of interest relevant to this manuscript.

Финансирование: Работа выполнена в рамках ГК № 120–38/2023 от 17.05.2023 на выполнение опытно-конструкторской работы по теме «Разработка и выпуск новых комплексов стандартных образцов и мер для обеспечения единства измерений по приоритетным направлениям в целях технологического суверенитета Российской Федерации» (шифр ОКР «Суверенитет»).

Funding: The work was carried out within the framework of State Contract No. 120–38/2023 dated May 17, 2023, for the implementation of a development project titled “Development and Production of New Complexes of Reference Materials and Measures to Ensure the Uniformity of Measurements in Priority Areas for the Technological Sovereignty of the Russian Federation” (code of the Development Work “SUVERENITET”).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Isotopic characteristics ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and $\delta^{18}\text{O}$) of honey from Bangladesh retail markets: Investigating sugar manipulation, botanical and geographical authentication / *M. A. Khatun* [et al.] // *Food Chemistry*. 2024. Vol. 435. P. 137612. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137612>
2. Калашиникова Д. А, Симонова Г. В. Соотношения стабильных изотопов (H, C, O) в образцах меда из разных регионов России // *Журнал аналитической химии*. 2022. Т. 77, № 12. С. 1138–1146. <https://doi.org/10.31857/S0044450222120076>
3. Determination of geographical origin of concentrated apple juice through analysis of stable isotopic and mineral elemental fingerprints: preliminary results / *X. Liu* [et al.] // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021. Vol. 101, № 9. P. 3795–3803. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11012>
4. Measurement of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ of water and ethanol in wine by off-axis integrated cavity output spectroscopy and isotope ratio mass spectrometry / *X. Wang* [et al.] // *European Food Research and Technology*. 2021. Vol. 247, № 8. P. 1899–1912. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03758-2>
5. Chemometric discrimination of the geographical origin of three Greek cultivars of olive oils by stable isotope ratio analysis / *M. Tarapoulouzi* [et al.] // *Foods*. 2021. Vol. 10, № 2. P. 336. <https://doi.org/10.3390/foods10020336>
6. Authenticity and typicity of traditional cheeses: A review on geographical origin authentication methods / *M. Cardin* [et al.] // *Foods*. 2022. Vol. 11, № 21. P. 3379. <https://doi.org/10.3390/foods11213379>

7. Characterization of beef coming from different European countries through stable isotope (H, C, N, and S) ratio analysis / L. Bontempo [et al.] // *Molecules*. 2023. Vol. 28, № 6. P. 2856. <https://doi.org/10.3390/molecules28062856>
8. Application of ^{13}C quantitative NMR spectroscopy to isotopic analyses for vanillin authentication source / C. Pironti [et al.] // *Foods*. 2021. Vol. 10, № 11. P. 2635. <https://doi.org/10.3390/foods10112635>
9. Assessment of international reference materials for isotope-ratio analysis (IUPAC Technical Report) / W. A. Brand [et al.] // *Pure and Applied Chemistry*. 2014. Vol. 86, Iss. 3. P. 425–467. <https://doi.org/10.1515/pac-2013-1023>
10. Разработка эталонной установки для метрологического обеспечения измерений дельта значения отношения изотопов углерода и кислорода в выдыхаемом воздухе / Я. К. Чубченко [и др.] // *Эталоны. Стандартные образцы*. 2024. Т. 20, № 2. С. 5–22. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-2-5-22>
11. Разработка стандартных образцов изотопного состава этанола / Я. К. Чубченко [и др.] // *Эталоны. Стандартные образцы*. 2025. Т. 21, № 3. С. 62–77. <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-62-77>
12. Chartrand M. M. G., Mester Z. Carbon isotope measurements of foods containing sugar: A survey // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 300. P. 125106. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125106>

REFERENCES

1. Khatun MA, Yoshimura J, Yoshida M, Suzuki Ya, Huque R, Simon D et al. Isotopic characteristics ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and $\delta^{18}\text{O}$) of honey from Bangladesh retail markets: Investigating sugar manipulation, botanical and geographical authentication. *Food Chemistry*. 2024;435:137612. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137612>
2. Kalashnikova DA, Simonova GV. Stable isotope ratios (H, C, O) of honey samples from different regions of Russia. *Journal of Analytical Chemistry*. 2022;77(12):1138–1146. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0044450222120076>
3. Liu X, Zhao Ya, Mu J, Zhang J, Zhang A. Determination of geographical origin of concentrated apple juice through analysis of stable isotopic and mineral elemental fingerprints: preliminary results. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2021;101(9):3795–3803. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11012>
4. Wang X, Jansen HG, Duin H, Meijer HAJ. Measurement of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ of water and ethanol in wine by off-axis integrated cavity output spectroscopy and isotope ratio mass spectrometry. *European Food Research and Technology*. 2021;247(8):1899–1912. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03758-2>
5. Tarapoulouzi M, Skiada V, Agriopoulou S, Psomiadis D, Rébufa C, Roussos S et al. Chemometric discrimination of the geographical origin of three Greek cultivars of olive oils by stable isotope ratio analysis. *Foods*. 2021;10(2):336. <https://doi.org/10.3390/foods10020336>
6. Cardin M, Cardazzo B, Mounier J, Novelli E, Coton M, Coton E. Authenticity and typicity of traditional cheeses: A review on geographical origin authentication methods. *Foods*. 2022;11(21):3379. <https://doi.org/10.3390/foods11213379>
7. Bontempo L, Perini M, Pianezze S, Horacek M, Roßmann A, Kelly SD. Characterization of beef coming from different European countries through stable isotope (H, C, N, and S) ratio analysis. *Molecules*. 2023;28(6):2856. <https://doi.org/10.3390/molecules28062856>
8. Pironti C, Ricciardi M, Motta O, Camin F, Bontempo L, Proto A. Application of ^{13}C quantitative NMR spectroscopy to isotopic analyses for vanillin authentication source. *Foods*. 2021;10(11):2635. <https://doi.org/10.3390/foods10112635>
9. Brand WA, Coplen TB, Vogl J, Rosner M, Prohaska T. Assessment of international reference materials for isotope-ratio analysis (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*. 2014;86(3):425–467. <https://doi.org/10.1515/pac-2013-1023>
10. Chubchenko IK, Kolobova AV, Larosh AV, Afanasyev GA. Development of a reference installation for metrological support of the delta value measurements of the ratio of carbon and oxygen isotopes in exhaled air. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2024;20(2):5–22. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2024-20-2-5-22>
11. Chubchenko IK, Larosh AV, Smirnov AV, Kolobova AV. Development of reference materials of ethanol isotopic composition. *Measurement Standards. Reference Materials*. 2025;21(3):62–77. (In Russ.). <https://doi.org/10.20915/2077-1177-2025-21-3-62-77>
12. Chartrand MMG, Mester Z. Carbon isotope measurements of foods containing sugar: A survey. *Food Chemistry*. 2019;300:125106. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125106>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Чубченко Ян Константинович – канд. техн. наук, руководитель лаборатории государственных эталонов и научных исследований в области измерений отношений изотопов ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19

e-mail: ycc@b10.vniim.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3408-5116>

Ларош Артем Вадимович – инженер лаборатории государственных эталонов и научных исследований в области измерений отношений изотопов ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19

e-mail: larosh@b10.vniim.ru

<https://orcid.org/0009-0005-3762-1964>

Смирнов Андрей Владимирович – инженер лаборатории государственных эталонов и научных исследований в области измерений отношений изотопов ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19

e-mail: andrey.smirniy@b10.vniim.ru

Колобова Анна Викторовна – д-р техн. наук, руководитель научно-исследовательского отдела государственных эталонов в области физико-химических измерений ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»

190005, г. Санкт-Петербург, пр. Московский, 19

e-mail: akol@b10.vniim.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9030-446X>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ian K. Chubchenko – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory of Measurement Standards and Scientific Research of Isotope Ratios, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia

e-mail: ycc@b10.vniim.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3408-5116>

Artem V. Larosh – Engineer of the Laboratory of Measurement Standards and Scientific Research of Isotope Ratios, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia

e-mail: larosh@b10.vniim.ru

<https://orcid.org/0009-0005-3762-1964>

Andrei V. Smirnov – Engineer of the Laboratory of Measurement Standards and Scientific Research of Isotope Ratios, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia

e-mail: andrey.smirniy@b10.vniim.ru

Anna V. Kolobova – Dr. Sci. (Eng.), Head of the Research Department of State Standards in the Field of Physical and Chemical Measurements, D. I. Mendeleyev Institute for Metrology

19 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190005, Russia

e-mail: akol@b10.vniim.ru

<https://orcid.org/0000-0001-9030-446X>